

**MICROSCOPIC MOVING MACHINE MECHANISM**

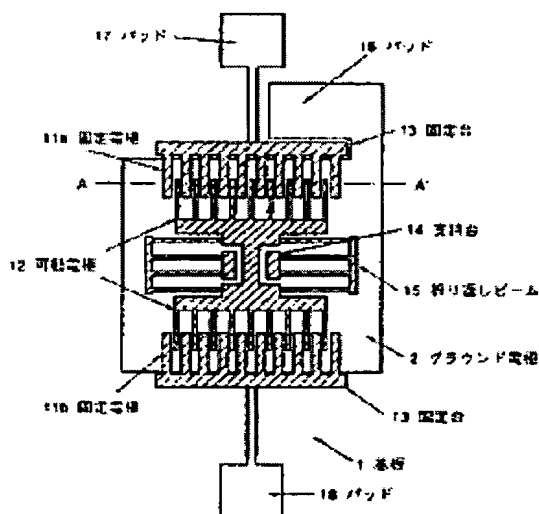
Patent number: JP3230779  
 Publication date: 1991-10-14  
 Inventor: SUZUKI KENICHIRO  
 Applicant: NIPPON ELECTRIC CO  
 Classification:  
 - international: **H02N1/00; H02N11/00; H02N1/00; H02N11/00; (IPC1-7): H02N11/00**  
 - european:  
 Application number: JP19900023684 19900202  
 Priority number(s): JP19900023684 19900202

[View INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

**Abstract of JP3230779**

**PURPOSE:**To largely vary the thickness of a component element by forming a movable or stationary electrode not of polysilicon but single crystalline semiconductor in a microscopic moving mechanism such as a vibration type sensor, the head of an optical disk, etc. **CONSTITUTION:**Stationary electrodes 11a, 11b and a movable electrode 12 are formed of single crystalline silicon. The electrode 12 is supported on a glass board 1, and the electrodes 11a, 11b are supported to a stationary base 13. Pads 16-18 for supplying potentials to the electrodes 11a, 11b and 12 are formed on the board. A ground potential is applied to the electrode 12, 2-phase AC potentials are applied to the electrodes 11a, 11b, and they are so driven that the electrodes 11a and 11b become out of phase. The electrode 12 does not generate a force to the stationary electrode of the side of the ground potential, but generates an electrostatic attraction force proportional to the difference of the potentials to the other stationary electrode. Thus, the electrode 12 is moved to the side of the stationary electrode different from the ground electrode, and since this state is alternately switched between the electrodes 11a and 11b, a vibration is generated.



Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## ⑫ 公開特許公報(A)

平3-230779

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>

H 02 N 11/00

識別記号

Z

庁内整理番号

7052-5H

⑬ 公開 平成3年(1991)10月14日

審査請求 未請求 請求項の数 13 (全12頁)

⑭ 発明の名称 微小可動機械機構

⑮ 特 願 平2-23684

⑯ 出 願 平2(1990)2月2日

⑰ 発 明 者 鈴木 健 一 郎 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内

⑱ 出 願 人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目7番1号

⑲ 代 理 人 弁理士 内 原 晋

## 明 細 書

発明の名称 微小可動機械機構

## 特許請求の範囲

(1) 固定電極に印加された静電力により可動電極が移動する微小可動機械機構において、少なくとも一つの電極が単結晶半導体からなることを特徴とする微小可動機械機構。

(2) 固定電極および可動電極を互いに入り組んだ櫛の歯状に配置したことを特徴とする請求項1に記載の微小可動機械機構。

(3) 固定電極に印加された静電力により可動電極が移動する微小可動機械機構の製造方法において、少なくとも一つの固定電極あるいは可動電極パターンを半導体基板の一方の主面に形成した後、当該半導体基板のパターンを形成した側を他の基板に張り付け、前記半導体基板から前記電極パターンを分離することを特徴とする微小可動機械機構の製造方法。

(4) 電極パターンをボロンが高濃度に拡散されたシリコン基板内に形成したことを特徴とする請求項3に記載の微小可動機械機構の製造方法。

(5) 電極パターンを半導体基板の不純物のタイプと異なる不純物タイプを拡散した半導体基板内に形成したことを特徴とする請求項3に記載の微小可動機械機構の製造方法。

(6) 一方の電極を他方の電極から離れるに従ってその電極間の距離が変化するようにしたことを特徴とする請求項2に記載の微小可動機械機構。

(7) 固定電極および可動電極を互いにそれぞれ異なる電極ピッチで横方向に配置したことを特徴とする請求項1に記載の微小可動機械機構。

(8) 固定電極および可動電極の一方の電極を他方の電極の上下に設けたことを特徴とする請求項1,7に記載の微小可動機械機構。

(9) 基板からの影響を減少させる緩衝機構を用いて当該可動電極を基板上に支持したことを特徴とする請求項1,7または8に記載の微小可動機械機構。

(10) 緩衝機構を可動連結板を介して複数のビームから構成したことを特徴とする請求項9に記載の微小可動機械機構。

(11) 固定電極に印加された静電力により可動電極が移動する微小可動機械機構において、固定電極の歯に順次に電圧を走査することにより、当該可動電極を移動させることを特徴とする微小可動機械機構の駆動方法。

(12) 微小可動機械機構の位置を検出し、この位置信号を当該固定電極駆動信号にフィードバックさせることにより、当該可動電極の運動を制御したことを特徴とする請求項11に記載の微小可動機械機構の駆動方法。

(13) 薄膜磁気ヘッドあるいは光ディスクヘッドを可動電極上に搭載したことを特徴とする請求項1, 2, 6, 7, 8, 9または10に記載の微小可動機械機構。

発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は微小可動機械機構に関し、特に微小で高精度の振動型センサや高性能なマイクロロボッ

の精度でヘッドの読みだし部分を駆動している。この駆動ピッチは機械の固有振動数によって制限されている。可動機械が小さくなるにつれて機械の固有振動数が大きくなり、その結果、機械を高速に駆動することが可能となるから、これにサーボ技術を組み合わせることによりさらに微小な動きをさせることが出来るようになる。しかし、検出部分を金属のアームの上に実装する現在の構造では個々の部品をさらに微細に作製しても微小な部品を実装することの困難さ等により機械全体を小さくすることが困難になりつつあった。一方、記録媒体の技術の進歩は、現在、 $\mu\text{m}$ 以下程度のピッチで信号を記録することが可能となりつつある。従って、信号を記録する分野において、高密度化を実現するためにヘッドの駆動機構系の大きさが最大の障害となっていることがわかる。

以上述べたヘッドの微小化を従来技術の延長と異なる手法で実現した報告はまだなされていないが、つい最近、これを実現することが出来るかもしれないと期待できる革新的な技術がシリコン振

トのアクチュエータ、さらに磁気ディスクや光ディスクのヘッド等の微小可動機構として用いられるものに関する。

(従来技術)

現在、上記分野で使用されている微小可動機械機構は、主に旋盤加工等の機械加工技術によって作製されており、機械加工技術の飛躍的な進歩により比較的低価格で精度の良いものを作ることが可能である。しかし、システム側の進歩はさらに急激であって、より高性能なものを求めている。そのため、従来の機械加工の延長上でこれに対応することが困難になりつつあり、革新的な加工技術の出現が期待されているのが現状である。以下、これを磁気あるいは光ディスクヘッドを例にあげて説明する。

現在、高密度に作製された記録媒体を読み出すヘッドの検出部分は非常に微小に加工されている。しかし、これを記録媒体上で動かすために検出部分は数 $\text{cm}$ 程度の金属からなるアーム上に実装されており、サーボ技術を使って、 $15\sim 30\mu\text{m}$ 程度

動型センサ技術に関連して発表された。以下、この技術を紹介し、その問題点と解決方法を示した後、これを応用すると微細なヘッドが作製できることを示す。

第9図は、アイトリプルイーマイクロエレクトロメカニカルシステムズ予稿集(Proceedings of IEEE Micro Electro Mechanical Systems (1989年2月))の53頁から59頁に記載されたダブリュー・シー・タンク(W. C. Tang)等による「Laterally Driven Polysilicon Resonant Microstructures」から引用した振動型センサの上面図である。これら全ての構造はシリコン基板表面上に堆積したポリシリコンからなっている。同図で固定電極11a, 11bに連結する固定台13と折り返しビーム15に結び付いた支持台14がシリコン基板に密着して作製されている。固定電極11a, 11bと、折り返しビーム15に連結している可動電極12とは、それぞれ固定台13と支持台14とによりシリコン基板から浮き上がる状態で支持されている。固定電極11a, 11bと可動電極12はそれぞれ歯の歯状の形に形成され、互いに1/3程度だけ相手の側

に食い込んでいる。この振動型センサは三つの電圧供給用のパッドをもっている。パッド17とパッド18はそれぞれ同図の固定電極11a, 11bに電位を与えるためのもので、供給電位とグラウンドとの間を互いに逆相に交差的に印加される。一方、パッド16には常にグラウンドの電位が与えられ、支持台14と折り返しビーム15を介して可動電極12にグラウンド電位が与えられる。パッド17がある供給電位をもつときパッド18がグラウンドになるので、可動電極12が固定電極11aに静電力により引き付けられて図の上向きに移動する。続いて、パッド17の電位がグラウンドに変化すると同時にパッド18の電位がグラウンドでない電圧になったとき可動電極12が図の下向きに引き付けられ、下方向に移動する。このパッド17とパッド18の電圧を可動電極12の固有振動数に近い周期で変化させると可動電極12が大きく振動する。可動電極12の固有振動数は構造が決まっているとき可動電極12の周囲の気圧等の関数である。そのため、固有振動数を検出することにより空気等の圧力を検出する

膜28をパターニングしてPSG膜28を除去する(同図(e))。この試料を弗酸液の中に長時間浸すことによりPSG膜26を除去する(同図(f))。同図(f)に示すように第2ポリシリコン膜27は先の図の固定電極11a, 11bと可動電極12となり、これら電極はシリコン基板20から浮き上がった構造となる。電極11a, b, 12の厚さは2 $\mu$ m程度である。さらに、同図(f)には先の図の固定台13が示されている。

以上示したように、ポリシリコンからなる可動機械はシリコンICプロセスで作製することが可能であるため、微小なものを作製することが出来る。さらに、シリコンICプロセスによるパターニングにより形の異なる機械要素を同一シリコン基板状に一度に作製することができ、個々の部品を従来の機械加工のように組み立てる必要がない。現時点では、具体的応用として上に記述した振動型センサのみが発表されているにすぎないが、この技術を磁気や光のヘッドを作製することに応用することが以下に示すように可能である。

(発明が解決しようとする課題)

ことができ、センサとして利用できる。なお、折り返しビーム15は可動電極12の移動により形状が変化し、この歪みの力により可動電極12を元の位置に戻そうとする。そのため、可動電極12の移動距離は印加電圧だけでなく折り返しビーム15の剛性の関数でもある。

このポリシリコンからなる振動型センサは非常に微小に作製することが可能である。第10図は、上記文献に記載された振動型センサの作製方法である。以下、同図を用いて振動型センサの作製方法を説明する。シリコン基板20の一方の主面に酸化膜21および窒化膜22を堆積した後、固定電極と可動電極との分離窓23をパターニングする(同図(a))。ポリシリコンを堆積しパターニングをして先の図のパッド16につながるポリシリコン電極25およびパッド17あるいはパッド18につながるポリシリコン電極24を形成する(同図(b))。PSG膜26を堆積しパターニングし(同図(c))、第2ポリシリコン膜27と第2PSG膜28を堆積する(同図(d))。PSG膜28をパターニングし、これをマスクとしてポリシリコン

しかし、上記従来技術は、堆積したポリシリコン薄膜を機械要素として使用しているため、以下の問題点が生じている。

(1) ポリシリコン薄膜をスパッタ装置で堆積するとき堆積速度が小さいために厚い膜を作製するのに長い時間を必要とする。通常のICプロセスに於てポリシリコン膜の厚さは1 $\mu$ m程度までである。もちろん長時間の成長を厭わないならばこれよりも厚い膜を形成することが可能である。しかし、そのとき高価な装置を長時間占有することからデバイスのコストが高くなる。さらに悪いことに、厚いポリシリコン薄膜の内部には大きな内部応力が生じており、基板の反りやクラックの原因となる。ましてこの例のようにポリシリコン薄膜が最終的にシリコン基板から分離されるときには内部応力によりポリシリコン構造が変形し、上に反ったり、下に反ってシリコン基板に接触したり固着してしまったり等の問題が多数生ずる。これらトラブルは1 $\mu$ m程度の厚さで既に数多く報告されている。例えば、第四回固体センサとアクチュエータ

国際会議予稿集(Digest of The 4th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators)(1987年6月)に記載のエス・ディ・センチュリア(S. D. Senturia)による「Microfabricated Structures for the Measurement of Mechanical Properties and Adhesion of Thin Films」(11頁-16頁)に詳しく記述されている。これらの経験から均一な内部応力をもつポリシリコン薄膜を作製することが容易でないことがわかる。

(2) 上記(1)に記したように厚いポリシリコン薄膜を作製することは現実には容易でない。しかし、ポリシリコンの厚さを厚くしたほうが以下に述べるように得策である。

従来例の振動型センサの可動電極は固定電極との間の電位差に起因する静電力によって振動する。この静電力は互いに対向する電極面の断面積に比例する。従って、断面積が小さい場合(1 $\mu$ m程度の厚さ)に十分な静電力を得るためには大きな電圧を印加する必要があった。先の例は固有振動数の近くで動かすために比較的効率良く可動電極を

動かすことができた。しかし、固有振動数から離れた周波数で動かすとき200Vから350Vもの電圧が必要である。この電圧は、通常のICで用いられている10V程度の電圧に比べて非常に大きく、もしこの機械を駆動しようとするとき、通常の電圧の他に昇電用コイルを必要とするため全体の装置が大きくなるという欠点があった。従って、可動電極と固定電極とを厚くすることが出来るならば、例えば、10 $\mu$ m程度の薄膜を作ることができたならば、印加電圧を1/10にすることができ、たいへん望ましいことがわかる。

(3) ポリシリコンの内部応力や機械定数等の機械的性質が現在精力的に研究されているが、形成する際のプロセス条件に強く依存しており、微小機械の構造を設計するのにまだ充分なデータの蓄積がない。このため、作製前に機械を精密に最適設計することができなかった。

以上の困難は従来のポリシリコンからなる微小可動機械に固有の問題であり、これを解決する新

しい機械の構造及びこれを実現する製作方法が切に望まれていた。

本発明の目的は、上記従来技術の欠点を除去し、ポリシリコンにかわる物質を用いて微小な可動機械とその製法および駆動方法を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

本発明の微小可動機械は、固定電極に印加された静電力により可動電極が移動する機構において、少なくとも一つの電極が単結晶半導体からなることを特徴としている。本発明の微小可動機械の一例として固定電極および可動電極を互いに入り組んだ歯の歯状に配置するものがある。またこのように配置ししかも当該一方の電極を当該他方の電極から離れるにしたがってその電極間の距離が変化するようにしたものがある

本発明の微小可動機械の製造方法は、固定電極に印加された静電力により可動電極が移動する機構の製造方法において、少なくとも一つの固定電極あるいは可動電極パターンを半導体基板の一方

の主面に形成した後、当該半導体基板のパターンを形成した側を他の基板に張り付け、前記半導体基板から前記電極パターンを分離することを特徴としている。電極パターンの形成方法としては、ボロンを高濃度に拡散したシリコン基板内に形成する方法や、半導体基板と異なるタイプの不純物を拡散してそこに形成する方法などがある。

本発明の微小可動機械の駆動方法は、固定電極に印加された静電力により可動電極が移動する機構において、固定電極の歯に順次に電圧を走査することにより、当該可動電極を移動させることを特徴としている。

また本発明の微小可動機械に薄膜ヘッドあるいは光ヘッドを搭載することもできる。

(作用)

本発明の微小可動機械機構では、可動電極あるいは固定電極を単結晶半導体から構成する。単結晶は堆積したポリシリコン薄膜と異なり、その機械的性質が均一であり内部応力も小さく、さらに、良く知られた豊富なデータを使用することが

できるという長所をもっている。一方、単結晶基板は通常微小な可動機械を作るには厚すぎるといふ困難があったが、本発明の作製方法に述べたように可動電極をパターンニングした単結晶基板を薄くすることにより、微小な機械を作製することが可能となった。このさい、単結晶基板を薄くする前に他の基板に張り付けるので、エッチング後も個々の部品に分離してしまうことがなく、微小機械の組み立ての手間を必要としない。さらに、本発明により容易に作製することができるようになった微小機械の固定電極と可動電極の構造と、両電極の間に印加する静電力の駆動方法とを工夫することにより、微小機械の制御が精密にできるようになる。

#### (実施例)

本発明を用いて従来例と同様の振動型センサを作製したときの構造を第1図を用いて説明する。第1図はさきの従来例の説明で用いた図と若干の部分を除いて同一のものであるが、材質などの構造が全く異なる。同図の構成要素の番号で従来例の図

数の金属から通常構成される。パッド16と通ずるグラウンド電極2を図に示すように可動電極12の周囲に広がるように大きくすることにより、電極の電位が固定され、外界のノイズが小さくなる。同図に示すように固定電極11a,bと可動電極12は相似の櫛の歯の形状で互いに入り組んで配置されている。可動電極12にはパッド16よりグラウンド電極2を通してアース電位が印加される。一方、固定電極11a,bにはアース電位に等しい電位と、異なる電位(10V程度)との二相の交流電位が印加され、11aと11bとで反対の位相となるように駆動される。可動電極12はアース電位である側の固定電極との間に力を生じないが、他方の固定電極との間に電位の差に比例した静電引力を生ずる。このため可動電極はアース電位と異なる固定電極の側に移動し、この状態が11aと11bで交互に切り替わるためにこの切り替え速度に比例して振動する。固定、可動の電極の厚さが10 $\mu$ mと従来より厚いため交流電位も10V程度と低くても充分振動する。可動電極12と折り返しビーム15と支持台14からなる系の固

と同一の番号は同じ作用をもった構成要素を示している。

第1図で、固定電極11a,bと可動電極12は厚さ10 $\mu$ mのシリコンの単結晶からなり、ガラス基板1から浮き上がった構造をしている。可動電極12は、支持台14により基板から浮いた単結晶シリコンからなる折り返しビーム15を介してガラス基板1の上に支持されている。一方、固定電極11a,bは、シリコンからなる固定台13により支持されている。これら固定電極11a,b、可動電極12、折り返しビーム15、固定台13、および支持台14は全て同一のシリコン基板から作製されたものであるため、互いに機械的性質が極めて近い。さらに、個々の内部構造も均一な機械的性質を有ししかも内部応力も小さい。固定電極11a,bと可動電極に電位を供給するためにパッド17,16,18をガラス基板上に金属を選択的に形成することにより作製する。これらの金属の電極は固定台13の一部および支持台14の一部と接しており電氣的に通じている。金属電極はクロム-金、チタン-白金-金等の複

有振動数に近い振動数で上記電位が切り替えられるとき最も大きな振幅で可動電極12が振動する。第1図の実施例ではすべての電極を単結晶Siで作った。しかし一方の電極はポリシリコンであってもよい。例えば固定電極11a,bを厚さ1 $\mu$ mのポリシリコン、可動電極12を厚さ10 $\mu$ mの単結晶Siとしたときは、両方ともポリシリコンの場合に比べ両者の間に生じる電気力線が平行になるので設計等がしやすい。

この実施例は静電力で駆動されるため小さな領域に大きな電界が生ずる。従って、もしデバイスが高い湿度等の劣悪な環境にさらされると異なる金属配線間にガラス表面を通した電流のリークが生じて問題となる。そのため、上記金属配線をパターンニングした後、金属配線の上に酸化膜、窒化膜等の絶縁膜をスパッタ等により堆積することによりガラス基板を通したリーク電流を低く抑えることが出来る。さらに、この実施例がガラス基板上に設けられていることは注目に値する。ガラス基板はシリコン基板と異なり完全な絶

縁体であるため駆動の際に生じた基板の電気力線に対する影響を全く無視することが可能で、固定電極と可動電極との間の電気力線のみを考慮するだけでデバイスを設計できるのでデバイスの解析並びにスケーリングを著しく簡素化するのに役立つ。

本実施例ではシリコン基板をガラス基板に張り付けた構造を述べたが、シリコン基板に張り付けてもよい。このとき、シリコン基板がガラスに比べて不完全な絶縁体であることから、デバイス内の電気力線が複雑になるという欠点が生じるが、一方、容易にシリコン基板内に凹凸の形状を作製することが可能なことから、本実施例と異なる複雑な構造を作ることもできる。例えば、一方のシリコン基板に固定電極を、他方のシリコン基板に可動電極を本発明の作製方法に従って作製し、これらの基板をシリコン-シリコン直接接合法によって接着することによって構成することも可能である。

20のエッチングを同図(c)に示すように行う。これら三回のマスク工程により固定電極31および可動電極32が形成される。続いて、酸化膜30を除去して固定電極31が静電接着法によりガラス基板に接着される。可動電極32は同図には示していないが、図面に垂直な方向に設けられた支持台を介してガラス基板上に支持される。このガラス基板には予め第1図のパッドやグラウンド電極となるクロム-金、あるいはチタン-白金-金等の複合メタル層が選択的にパターンニングされている。これら金属層とボロン拡散層からなる固定電極および可動電極との導通はシリコンとガラスとの接合の力を利用してボロン拡散層をメタル層に物理的に押し付ける方法によりなされるため、接着剤を必要としない。最後に、シリコンとガラスとが接着した試料をEDP等のエッチング液に浸し、シリコン基板20を除去する。EDP等のエッチング液は高濃度にボロンが拡散された層のみを残してシリコン基板を溶かす性質があり、さらに、ガラス基板や金等のメタルもエッチング液に溶けないで残る。以上述

第2図(a)~(c)に第1図の構造を作製するための新しい方法を述べる。第2図は、第1図のA-A'断面を示している。シリコン単結晶基板20の上に酸化膜21を形成し、部分的に酸化膜21を除去した領域から高濃度のボロンを拡散してボロン拡散層3を形成する(同図(a))。酸化膜21を全面から除去し再び酸化膜29を設け、部分的に除去した後、酸化膜29をマスクにしてボロン拡散層3をシリコン基板20に到達するまでエッチングしてトレンチ溝4を形成する(同図(b))。このトレンチ溝4はドライエッチRIE(Reactive Ion Etching)を用いると例えば円等の任意の断面形状を作製することが可能である。第1図に示す形状のように互いに直交する形状の場合にはシリコン基板20の面方位を(110)に選び、EDP(エチレンジアミンピロカテコール)等の異方性エッチング液を用いるウェットエッチングの技術によっても同図(b)に示すような垂直の壁に囲まれたトレンチ溝4を作製することが可能である。酸化膜29をパターンニングして酸化膜30を形成し、これをマスクとしてボロン拡散層3およびシリコン基板

20の作製方法のボロン拡散温度と時間を変化させることにより固定電極と可動電極との厚さを1 $\mu$ m程度から数十 $\mu$ m程度に容易に変化させることが出来る。この際、ボロン拡散層が単結晶シリコンからなるため、その機械的性質が均一で内部応力も小さいことがこの構造の大きな特徴である。従って、厚い固定電極あるいは可動電極を作製しても従来のポリシリコン薄膜と異なりその形状が反ったりすることがない。さらに、従来例の作製方法では先に図示した以外にコンタクト用にさらに一枚のマスク工程が必要であるため、合計で5回のマスク工程を必要とするのに対し、本発明の製作方法ではシリコンに3回とガラス基板に1回のマスク工程を必要とするだけである。このため、製作が著しく容易となった。なお本実施例では最初にボロンの拡散を行ったが、この順番をかえて、図の(b),(c)の後にボロンの拡散(a)を行ってもよい。また図の(b)と(c)の各工程の順序も逆にしてもよい。

本作製方法で用いた高濃度ボロン拡散によるシリコンのエッチング停止の他に、シリコン基板と



異なる不純物を拡散した層に静電圧を印加してエッチングを停止させる電気化学的エッチストップ法も有効である。この方法を行うには例えば第2図の3をn型拡散層とし、基板をp型とすればよい。エッチングが停止する不純物層全体が等電位となるようにするため、例えば、ガラス基板のメタル配線をデバイスの外部でショートさせておき、シリコンのエッチングが終了した後、例えば、チップに切断する際にこの外部のショート部を同時に切断する等の工夫が必要である。

第3図に本発明の他の実施例を示す。同図で第1図の構成要素と同一の番号をもつ構成要素は同一の要素を示している。第3図の構成は、固定電極11の構造を除いて第1図の実施例と同じである。この実施例では固定電極11a,bの電極の歯の幅が固定台13の側へ行くにつれて大きくなる、つまり電極間の距離が可動電極12から離れるにしたがって狭くなるように構成されている。第1図の実施例で説明したように可動電極12に働く力は固定電極11に印加する電位に比例する。一方、この静電力は固定

電極と可動電極との間の距離にも比例する。第1図の実施例の場合、固定電極と可動電極との間の距離が一定のため可動電極の単位長さあたりに働く静電力は可動電極の動きに無関係に一定であるのに対し、本実施例のように固定電極と可動電極との間の距離が可動電極の移動により変化するとき単位長さあたりの可動電極に働く静電力もこれにしたがって変化し、両電極間の距離に反比例して増大する。従って、可動電極はさらに固定電極の奥の方に進もうとするようになる。この実施例は第1図の場合より小さな力で駆動できるという利点がある。この可動電極の固定電極の方向への動きは折り返しビーム15の剛性による反対方向の力によってつりあい、やがて停止する。この運動は固定電極11a,bの個々の歯の幅と折り返しビームの剛性という構造的要素を変化させることにより可変であり、第1図の構造に比べて設計の自由度が増すという利点が生じることがわかる。なお、本実施例では固定電極側の歯の幅を変えたが、可動電極側の歯の幅を変えてもこれと同じ効果が生じる。

さらに、固定電極側および可動電極側の両方を変化させることも本発明に含まれる。

第4図に本発明の他の実施例を示す。同図の構成要素で第1図の構成要素と同じ番号を持つものは同じ要素を示している。本実施例では可動電極40とその両側の固定電極41a,bがそれぞれ横方向に配置されており、第1図の実施例と異なって互いに相手の側に入り組んでいない。さらに、同図に示すように可動電極40と固定電極41a,bではそれぞれの歯のピッチが異なっている。同図の実施例では、同図に矢印で示す上下それぞれ4箇所可動電極40と固定電極41a,bとの歯の位置が合致している。可動電極40の左右の側に位置し可動電極40に一端を固定された折り返しビーム44はガラス基板1に固定された支持台42により基板から浮いた状態で支持されており、可動電極40を基板から浮き上げている。一方、可動電極40の中央部においても直線ビーム43、47と連結板45からなる緩衝機構48により可動電極40が基板から支持されている。この緩衝機構48と折り返しビーム44上に述べた可動電極

40を支持するほかに以下の二つの機能を有している。第一に、可動電極40が同図の左右に移動するとき折り返しビーム44および直線ビーム43の変形により生じる復元力によりこの運動を抑制し可動電極40をもとの位置に戻そうとする。第二に、緩衝機構48および折り返しビーム44はその一端で支持台42を介して基板に固定されているため、基板と支持台との接触面から発生する熱や湿度等の応力等の影響が可動電極に伝達されるのを小さくすることができる。さらに、同図に示したような折り返しビーム44の繰り返し構造や可動の連結板45を介して直線ビーム43が直交する構造は、ビーム内部の応力等の影響を緩衝機構48や折り返しビーム44の形状が変化することによって緩和するのに役立つ。

本発明の実施例では可動電極40が固定電極41a,bに印加される電圧の変化に従って図の左右方向に移動する。この動きを左右の一次元に制限するために基板1に固定されたスライダ突起46が設けられている。もし可動電極40が左右の一次元の動き

からそれて図の上下方向に動いたときこのスライダー突起46に接触して垂直な方向の移動が妨げられる。

固定電極41a,bの各々の歯には個々独立に異なる電圧を印加することができるが、同図の実施例では可動電極40を挟んで相対する固定電極41a,bの歯を6個おきに同電位となるように選んで、可動電極40の電位と異なる電位を印加している。このとき、他の固定電極の歯には可動電極と同じ電位が供給される。同図の実施例では固定電極41a,bの6個毎の歯の間隔と可動電極40の5個毎の歯の間隔が一致するように設計している。異なる電位が印加された固定電極と可動電極との歯の間にはのみ静電力が働くので、力の釣り合いの条件から、電圧が供給された固定電極41a,bの歯の位置に可動電極40の歯が合致する位置に可動電極40が移動する。印加電圧を隣合う固定電極の歯に順次に走査することによりこの走査方向に可動電極をうごかすことが可能となる。

する位置にある固定電極の歯に同じ電圧を供給し、第4図の実施例で述べたと同じ駆動方法により可動電極40を左右に移動させる。このとき可動電極の移動する最小の距離は固定電極のピッチにより決められる。可動電極40はガラス基板1の面方向だけでなくそれを最小限に抑えるためその波うちの動きと反対方向に固定電極51と52の間に電位差を与えることもできる。第6図に第5図のB-B'断面を、第7図に第5図のC-C'断面の作成方法を示す。同図の構成要素で第2図と同じ番号を持つ要素は同じ構成要素を示している。初めに、深い溝4が開けられ(第6,7図(a))、続いて支持台(図示せず)と固定台31を残して浅くエッチングされる(第6,7図(b))。最後にボロンが拡散され可動電極40(第6図)と固定電極51(第7図)とが形成される。ガラス基板上に固定電極52がメタルにより形成され(図示せず)、シリコン基板とガラス基板が静電ボンディングにより接着され、ボロンが拡散されていない領域がウェットエッチングにより除去される。なお、第5図の可動電極40の両端に位置する端側平坦部53と中央平

また、可動電極40の一部の位置を固定電極側の一部で検出することにより可動電極の変移を検出することが出来る。例えば、駆動電圧が印加されない固定電極側の歯と可動電極の歯との電気容量を検出する回路を設けるとか、固定電極側に可動電極に向かってレーザを放出しその反射光を検出する手段を設ける等の方法がある。この可動電極の位置を示す信号を固定電極側の駆動回路にフィードバックさせることにより可動電極の移動制御をさらに精密にすることが可能である。

第5図に本発明の他の実施例を示す。同図の構成要素で第4図の構成要素と同じ番号を持つものは同じ要素を示している。同図に示す実施例は固定電極の構造が第4図の実施例と異なる。本実施例ではシリコン基板(図示せず)側に固定電極51、ガラス基板1の側に固定電極52、の二つの電極が設けられている。ガラス基板1とシリコン基板の間に空間がありそこを可動電極40が移動する。可動電極40の歯55は固定電極51と52の間に位置しており、電位を加えることによって移動する。互いに上下に相対

平坦部54を固定電極51と同じ高さに作製することにより可動電極40が左右に移動してもこれら平坦部がスライダー突起46に接触することがなく、可動電極40の作動範囲を大きくとれることも本実施例の特徴である。

第8図に本発明の他の実施例の断面図を示す。同図の構成で第5図と同じ番号を持つものは同じ要素を示している。同図に示す実施例は第5図の実施例と固定電極の構造が異なる。シリコン側固定電極51とガラス基板側固定電極52とが互いにそのピッチ幅の1/2程度だけずらせて配置されており、シリコン側-ガラス側-シリコン側等の順に電圧が固定電極に印加される。このとき、可動電極40は印加されている固定電極の歯の位置に合致するように移動する。この構造は固定電極のピッチの半分の精度で可動電極を制御できるという利点がある。上記実施例の他に第4図の実施例と同様に可動電極と同じ高さ位置に固定電極をさらに追加して、可動電極の上側-側面-下側といった順に固定電極を駆動することも本発明に含まれる。このとき、各固定

電極をその幅の1/3程度にずらして配列することにより、可動電極を固定電極の歯のピッチの1/3の精度で駆動させることが可能である。

以上、一次元に移動可能なリニアアクチュエータの構造、作製方法、および駆動方法を述べた。このアクチュエータはこのままで従来例で述べた振動型センサとして利用することが出来る。さらに、第4図の可動電極40内の中央の平坦面あるいは第5図、第8図の可動電極40内の中央平坦部54の上にフェライト等による磁性体からなる薄膜ヘッドを既知の方法で堆積、パターンニングすることにより微小な磁気ヘッドを作製することが可能である。この薄膜ヘッドの作製方法としてさらに光CVD等の技術を用いてデバイスに直接描画する手法も本発明に含まれる。さらに、光ファイバーあるいは発光素子と受光素子とをのせることにより微小な光ヘッドを構成することが可能である。本発明の実施例では静電力で駆動する方法を述べたが固定電極をコイル等で構成し可動電極を電磁力で駆動する方法も本発明に含まれる。さらに、本

に、厚くしても内部に応力が生じないので反り等の形状変化を小さくすることが出来る。

本発明の製造方法を用いると従来例よりも少ないマスク工程で製作することができ、デバイスの歩留りを飛躍的に改善できた。本発明の構造では単結晶半導体基板をもう一つ他の基板に張り合わせて製作されている。この他の基板にガラス基板を選ぶならば、デバイス内部の電気力線の解析が容易になり、デバイス設計を著しく簡素化することができる。この単結晶半導体からなるアクチュエータの上に薄膜磁気ヘッドを形成するとき非常に微小で高速に動作する磁気ディスク用のヘッドを実現することが出来る。さらに、光素子をアクチュエータの上に搭載するとき非常に高性能な光ディスクヘッドを実現することが出来る。これらディスクヘッドを利用することによりディスクの書き込みや読み出しを従来例の百倍程度も高密度にすることができ、ディスク装置の小型化に非常に貢献をすることが明らかである。

図面の簡単な説明

実施例のアクチュエータは直線上を動くものに限られることなく、円弧状に動くアクチュエータにも容易に適用することが出来る。このとき、円弧状の形状をもつ可動電極の周囲に固定電極が円弧上に配列される。

なお、以上説明した例では電極を構成する単結晶SiはすべてSi基板から形成したが、これに限らずガラス基板、サファイア基板、表面に絶縁膜を形成した半導体基板等の上に気相エピ(選択エピも含む)、レーザアニール等で形成した単結晶Siを用いてもよいことは明らかである。

また第3~8図に示した例およびその変形例は電極がすべて単結晶半導体であるが、電極の一方またはすべてがポリシリコンであってもよい。

(発明の効果)

本発明の微小可動機械機構は単結晶半導体から構成要素が構成されるため、従来例のポリシリコン薄膜からなる構造の欠点が著しく改善された。構成要素の厚さを大きく変化させることが可能であるため製作および駆動が容易になった。さら

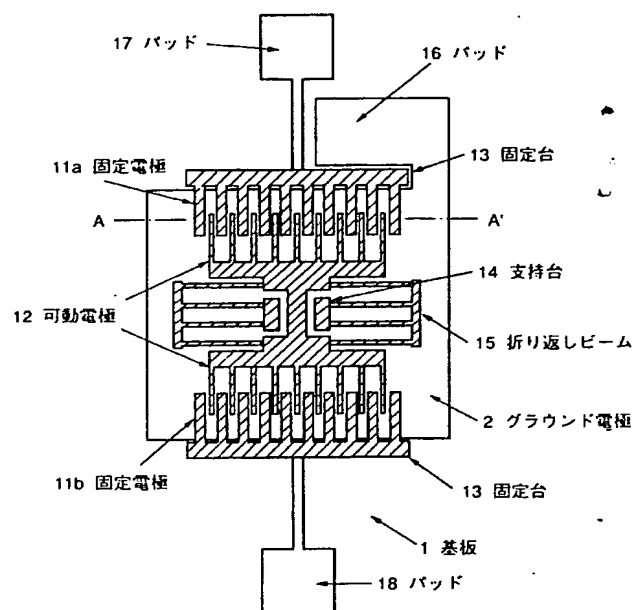
第1図は本願第一の発明の一実施例の上面図、第2図は本願発明の作製方法の一実施例の断面図、第3図、第4図および第5図は本願発明の他の実施例の上面図、第6図および第7図は第5図に示した本願発明の実施例の作製方法の断面図、第8図は他の実施例の断面図を示している。さらに、第9図および第10図は従来の構造の上面図およびその作製方法の断面図を示す。

1…基板、2…グラウンド電極、  
3…ボロン拡散層、4…トレンチ溝、  
11…固定電極、12…可動電極、13…固定台、  
14…支持台、15…折り返しビーム、  
16, 17, 18…パッド、20…シリコン基板、  
21…酸化膜、22…窒化膜、23…分離窓、  
24, 25…ポリシリコン電極、26…PSG膜、  
27…第2ポリシリコン膜、28…第2PSG膜、  
29, 30…酸化膜、31…固定電極、32…可動電極、  
40…可動電極、41…固定電極、42…支持台、  
43…直線ビーム、44…折り返しビーム、  
45…連結板、46…スライダ突起、

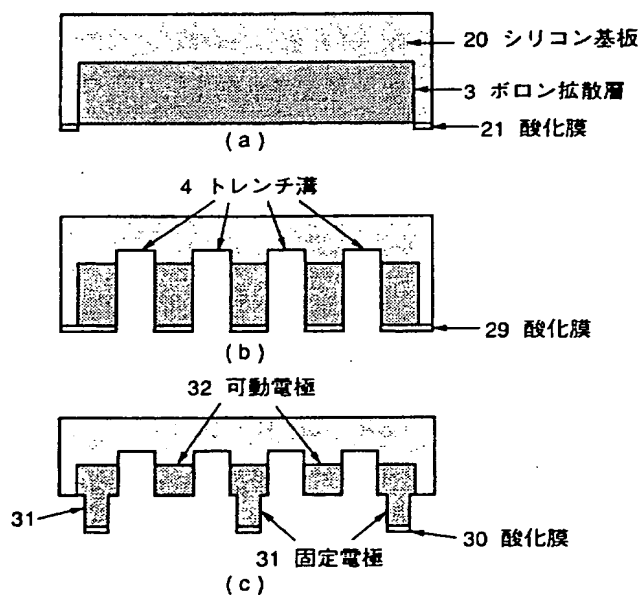
47…直線ビーム、48…緩衝機構、  
51…固定電極(シリコン側)、  
62…固定電極(ガラス基板側)、53…端側平坦部、  
54…中央平坦部

代理人 弁理士 内原 晋

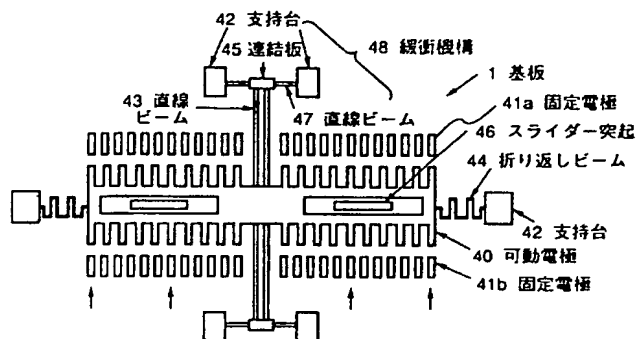
第 1 圖



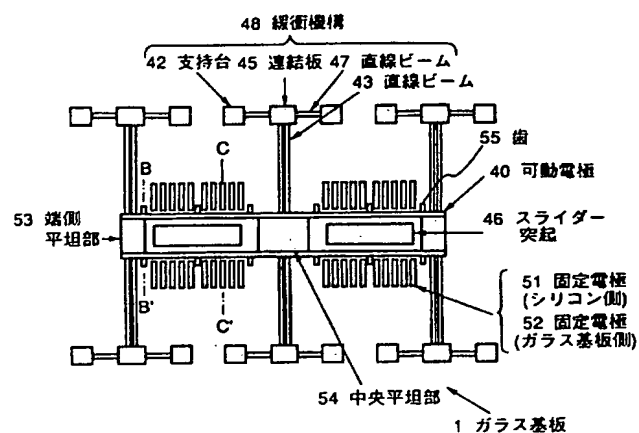
第 2 図



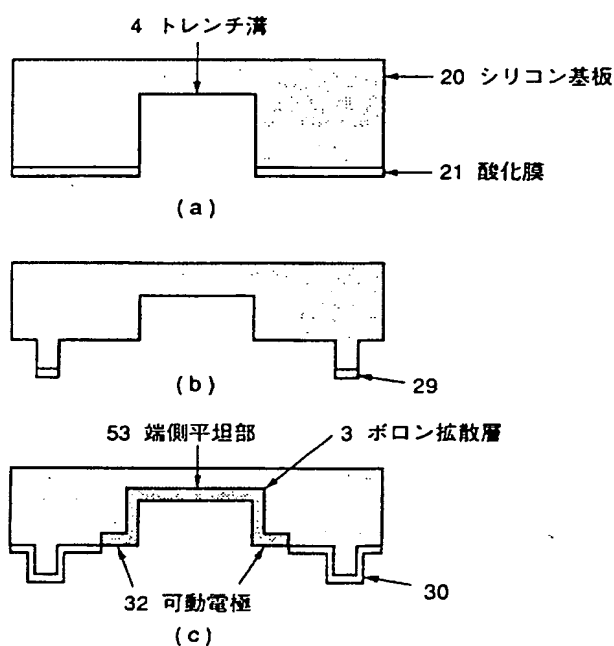
第 4 図



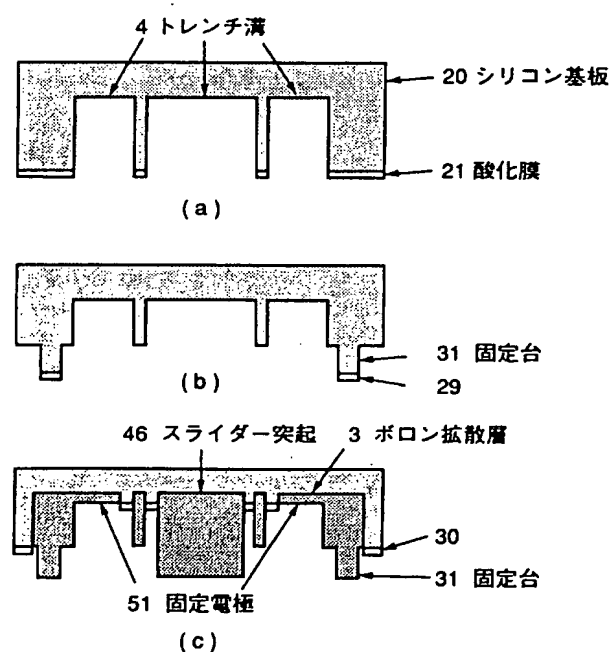
第 5 図



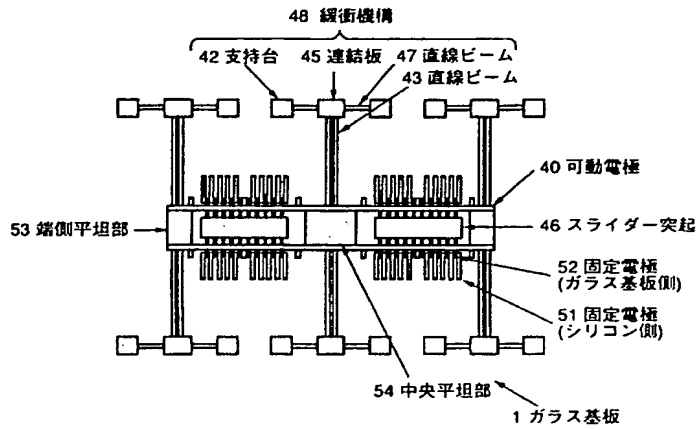
第 6 図



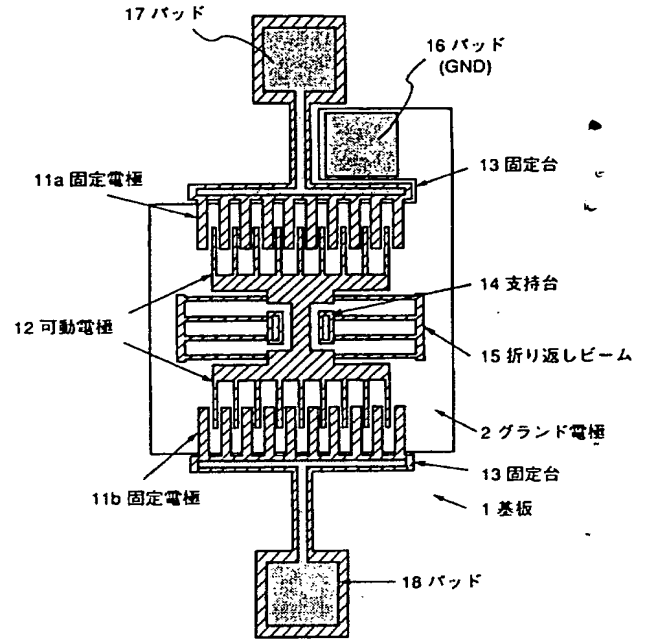
第 7 図



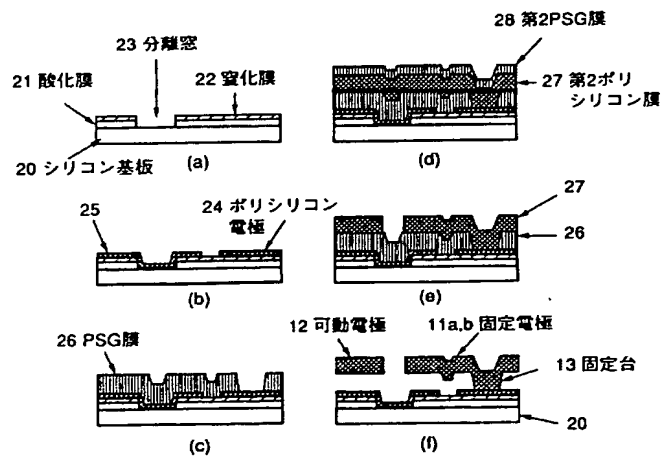
第 8 図



第 9 図



第 10 図



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**